

华南地区大直径筒仓氮气气调浓度分布规律与光伏节能调控技术研究

李宗权 潘柏西 项宽宽 王欢紫 陈伟
广东省储备粮管理集团有限公司东莞直属库
DOI:10.32629/as.v9i8.4234

[摘要] 为探究大直径筒仓氮气气调浓度分布规律及光伏节能气调应用效果,本文以仓容2万吨的大直径筒仓为试验对象,设置连续充氮与日间间歇充氮两种模式,开展仓内氮气浓度动态监测。结果表明,两种充氮方式达到目标氮气浓度的作业时长与能耗基本相当,间歇充氮可适配多仓型应用;大直径筒仓氮气浓度呈明显分层分布特征,粮堆下层尤其是仓门附近浓度衰减最快,为典型气调死角,两种充氮方式对氮气浓度维持效果无明显影响。综合用电成本测算,“光伏发电+氮气气调”绿色储粮模式经济与环保效益突出,具备广泛推广应用价值。

[关键词] 大直径筒仓; 氮气气调; 浓度分布; 光伏发电
中图分类号: TM615.2 **文献标识码:** A

Research on the Distribution Law of Nitrogen Gas Conditioning Concentration in Large Diameter Silos in South China and Photovoltaic Energy-saving Regulation Technology

Zongquan Li Boxi Pan Kuanquan Xiang Huanzi Wang Wei Chen

Dongguan Grain Depot, Guangdong Province Reserve Grain Management Group Co., Ltd

[Abstract] To investigate the distribution patterns of nitrogen concentration in large-diameter silos and the application effects of photovoltaic energy-saving nitrogen modulation, a large-diameter silo with a capacity of 20,000 tons was selected as the test object. Two nitrogen filling modes—continuous filling and intermittent filling during the day—were implemented, and dynamic monitoring of nitrogen concentration inside the silo was conducted. The results showed that both filling methods achieved the target nitrogen concentration with similar operational durations and energy consumption, with intermittent filling being adaptable to various silo types. The nitrogen concentration in large-diameter silos exhibited distinct stratified distribution characteristics, with the fastest concentration decline occurring in the lower grain layer, particularly near the silo door, which is a typical nitrogen modulation dead zone. Neither filling method significantly affected the maintenance of nitrogen concentration. Based on comprehensive electricity cost calculations, the "photovoltaic power generation + nitrogen modulation" green grain storage model demonstrated outstanding economic and environmental benefits, making it highly suitable for widespread adoption and application.

[Key words] large diameter silo; nitrogen gas conditioning; concentration distribution; photovoltaic power generation

近年来,我国绿色储粮技术持续革新,在气调控温、品质保鲜、虫霉绿色防控等领域成果显著。氮气气调储粮作为主流绿色储粮技术,具有环境友好、无化学残留等优势,已成为储粮防控领域的研究热点^[1-2],该技术目前已在粮食储藏领域得到广泛应用^[3]。随着我国粮食储备向规模化、集约化发展,大直径筒仓已成为现代化粮库的核心仓型之一^[4]。该类浅圆仓直径超25 m、

装粮高度可达40 m以上,单仓仓容约2万吨,具备机械化程度高、运营成本低等优势,已逐渐成为我国粮食仓储体系的重要基础设施。同时,受超大容积、超高粮堆的特殊结构影响,大直径筒仓氮气气调应用相较于常规粮仓而言,易出现氮气分布不均、浓度分层问题,造成局部虫霉防控效果不佳^[5]。目前,针对大直径筒仓氮气浓度分布规律的相关研究较为匮乏,因此开展大直径

筒仓氮气气调浓度分布规律研究,可为优化气调工艺提供必要的理论与技术支持。

在“双碳”战略与粮食行业绿色转型背景下,清洁能源替代与节能降耗成为仓储领域的发展重点^[6]。仓顶光伏发电适配粮库场地条件,可实现就地清洁供能,是粮库绿色改造的关键技术路径。将光伏发电与气调技术融合,可一定程度上解决气调作业能耗高、成本高的痛点,对实现大型筒仓绿色、节能储粮具有重要意义。

1 试验材料与方法

1.1 试验仓房参数

大直径筒仓(Q53仓):设计仓容2万吨,仓房体积30071m³,顶高51.5m,装粮线高度41.0m,内径29m。

1.2 试验设备

制氮机:大连力德生产 LDPN-350/99.5 型固定式制氮机,制氮效率350 Nm³/h。绿能光伏系统:隆基绿能科技股份有限公司,装机容量2.16 MWp。

1.3 试验方法

1.3.1 试验仓房充氮方式

Q53仓2024年6月气调开机,开机时间为0:00-24:00,仓内氮气浓度达到98.5%结束作业;2025年3月只调整开机时间为8:00-18:00。记录两次作业期间气调工艺、充氮时长、能耗等数据。

1.3.2 仓内氮气浓度检测点位置

空间:粮面上2米(1号)、粮面上4米(2号)、粮面上6米(3号)
上层:东粮面下2米(4号)、南粮面下2米(5号)、西粮面下2米(6号)、北粮面下2米(7号)
中层:东半径中粮面下16.5米(8号)、南半径中粮面下16.5米(9号)、西半径中粮面下16.5米(10号)、北半径中粮面下16.5米(11号)、中间粮面下16.5米(12号)
下层:仓门附近(13号)、东侧中圈(14号)、西侧外圈(15号)、中心减压管(16号)、南侧仓壁(17号)

2 结果与分析

2.1 不同充氮方式对能耗的影响

为验证日间光伏发电充足时,以光伏发电作为氮气气调系统主要能源的可行性,本研究开展不同充氮模式对比试验。由表1试验数据可知,Q53仓采用连续充氮,仓内氮气浓度达到98.5%需要113.0 h,能耗10455 kW·h;Q53仓采用间歇充氮,仓内氮气浓度达到98.5%需要114.9 h,能耗10435 kW·h。这表明,在这两种工况下,系统达到目标气体浓度的作业时长和总能耗基本一致。

表1 Q53仓连续充氮与间歇充氮情况对比

仓号	充氮时间	充氮日期	时长/h	能耗/kwh	工艺
Q53	0:00-24:00	2024.6.13~6.18	113.0	10455	下充上排
	8:00-17:00	2025.3.4~3.19	114.9	10435	下充上排

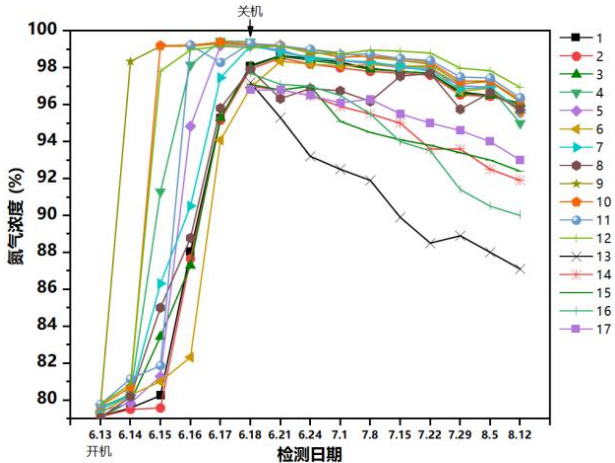
为进一步验证上述试验结论,另选取浅圆仓、立筒仓、星仓

等多种仓型开展对比试验。由表2试验结果可知,针对仓容1000 t的X3仓,仓容5000 t的T10仓及仓容10000 t的Q19仓,分别采用连续充氮与间歇充氮模式开展气调作业,不同仓型、不同仓容条件下,两种充氮方式的作业时长均基本保持一致。上述结果充分印证了间歇充氮模式在多仓型应用中的可行性与稳定性。

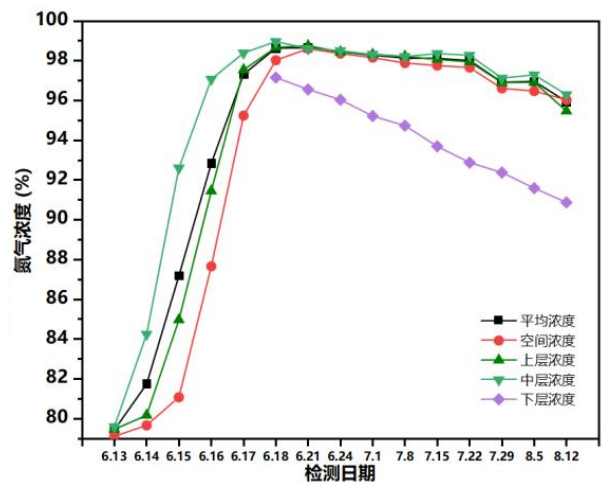
表2 不同仓型连续充氮与间歇充氮情况对比

仓房编号	粮食品种	数量/t	充氮时间	充氮工艺	充氮时长/h	能耗/kwh
X3	小麦	999.618	8:00-17:00	下充上排	10.7	1051.2
			全天	下充上排	11.8	1129.8
T10	小麦	5099.880	8:00-17:00	下充上排	36.5	3369.2
			全天	下充上排	40.7	4233.6
Q19	玉米	10000.000	8:00-17:00	上充下排	93.6	8628.4
			全天	上充下排	94.4	8702.1

2.2 大直径筒仓氮气浓度分布规律的研究



Q53仓气调期间仓内各点位浓度变化(全天开机)



Q53仓气调期间仓内各层浓度变化(全天开机)

图1 Q53仓采用连续充氮方式后仓内浓度变化

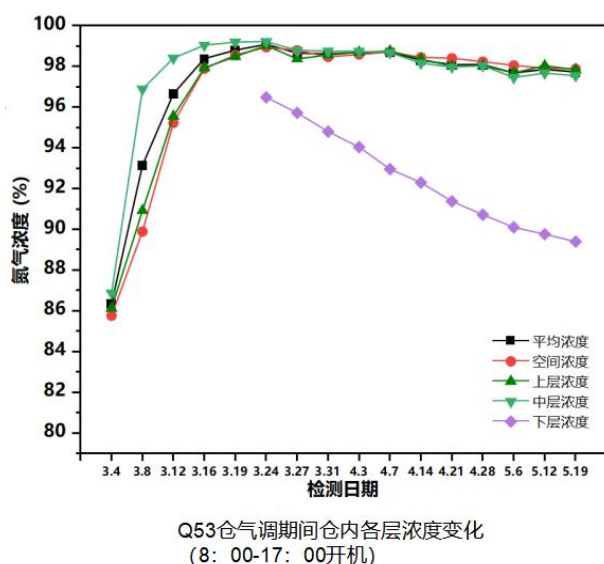
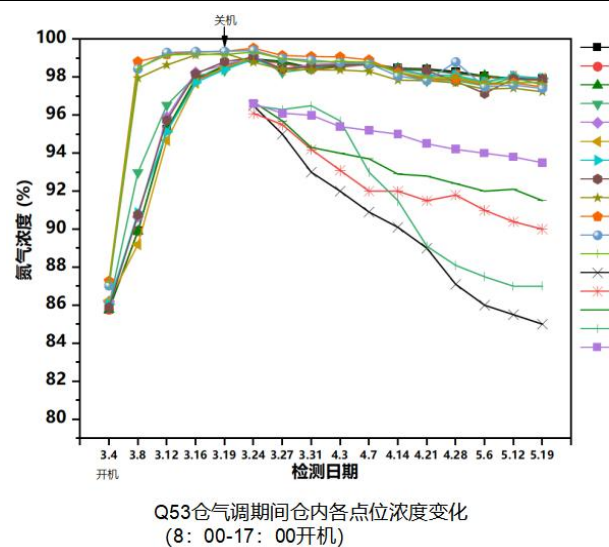


图2 Q53仓采用间歇式充氮方式后仓内浓度变化

为探明大直径筒仓内氮气浓度分布规律,本研究在Q53仓内布设17个氮气浓度监测点位,覆盖仓内空间、粮面表层及粮堆上、中、下层关键区域。连续充氮与间歇充氮模式下的仓内氮气浓度变化特征分别如图1、图2所示。试验结果表明,两种充氮方式下,仓内氮气浓度达到设定目标98.5%并停机后,各监测点氮气浓度均呈现缓慢衰减趋势,且浓度衰减存在显著的空间差异性。其中,粮堆下层5个监测点的浓度下降速率显著高于中上层区域,粮堆下层靠近仓门的13号点为典型气调死角,也是氮气浓度衰减最快区域,且气调期间该区域观察到较多活虫活动,是后续精准补气与虫害防控的重点区域。而同周期内粮堆中上层各监测点氮气浓度均可维持在98%以上。仓下仓门等部位非整体

浇筑完成,再加上在外界气候条件影响下施工结合部位产生伸缩缝,致使该处气密性明显下降,从而导致氮气浓度下降过快。综合对比可知,两种不同充氮模式下,粮堆中上层高浓度氮气均可稳定维持28天以上,表明充氮方式对仓内氮气浓度的维持效果无显著影响。

2. 3绿能光伏应用情况

2025年库区全年仓储作业总用电量约为1,940,674 kW·h,经粗略估算,日间利用光伏发电可节约用电约808,614 kW·h,与未安装光伏相比节约用电41.7%。2025年库区光伏总发电量为2,130,807 kW·h,按照工业用电电价0.832元/(kW·h)、余电上网电价0.453元/(kW·h)核算,光伏系统年度综合经济效益约170.46万元。光伏日间发电可基本满足控温、气调等绿色储粮作业用电需要,富余发电量还可并网外销,兼具节能降本与增收双重效益。

3 讨论与结论

(1)储粮期间需常态化做好仓房关键部位气密处理,针对二次浇筑部位实施气密专项改造,从源头提高气调效率。

(2)为解决仓门等处氮气气调杀虫死角,可推行全仓氮气气调搭配局部二氧化碳补强的组合调控方式,构建立体化气调防虫体系,弥补纯氮气气调缺陷,优化绿色气调储粮技术。

(3)仓房气密合格、日间光伏供电充裕且粮情稳定时,可广泛推行光伏时段气调模式,多用清洁光伏电力、缩减市电使用,兼顾气调储粮成效与节能降本的绿色储粮要求。

【参考文献】

- [1]曹阳,周凤英,李兴军.氮气气调储粮技术对稻谷品质的影响[J].农业工程学报,2020,36(10):307-314.
- [2]黄熠林,杨红彪,苏志松.氮气气调储粮技术应用实践[J].粮食科技与经济,2019,44(12):34-36.
- [3]李敏飞,吴文强,高正兰,等.高大平房仓氮气气调不同充氮方式应用效果分析[J].粮油仓储科技通讯,2026,42(2):67-70.
- [4]王向阳,张景宇,李松伟,等.大直径筒仓不同通风方式降温效果研究[J].粮食科技与经济,2023,48(6):83-87.
- [5]夏永刚,邓广牒,李汉宏,等.大直径筒仓气调杀虫技术应用[J].粮油仓储科技通讯,2025,41(6):34-38.
- [6]龚开元,罗小苗,王康.粮食仓储平房仓屋面光伏发电方案选型与经济效益优化研究——以传统BAPV模式与BIPV方案为例[J].粮食与饲料工业,2026,(2):34-38.

作者简介:

李宗权(1997--),男,汉族,湖南武冈人,硕士研究生,粮油保管员,研究方向为粮食储藏、绿色储粮技术应用等。